



E39 Joberget løsmassetunnel - Rørskjerm

Erfaringsrapport

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 677



Tittel

E39 Joberget løsmassetunnel - Rørskjerm

Undertittel

Erfaringsrapport

Forfatter

Asgeir S. Gylland, Bent Aagaard, Sweco

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og
teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

603319

Rapportnummer

Nr. 677

Prosjektleder

Alf Kveen

Godkjent av

Mona Lindstrøm

Emneord

Erfaringsoverføring, løsmassetunnel, før-
skjerm

Sammendrag

Erfaringsrapport om driving igjennom løsmasser og inn i berg ved hjelp av rørskjerm. Metoden åpner for muligheten til å unngå farlige påhuggsområder og er et alternativ til utlasting av løsmasser . Erfaringene med metoden er gode

Title

E39 Joberget soiltunnel - Pipe roof support

Subtitle

Experience report

Author

Asgeir S. Gylland, Bent Aagaard, Sweco

Department

Traffic Safety, Environment and Technology
Department

Section

Tunnel og betong

Project number

603319

Report number

No. 677

Project manager

Alf Kveen

Approved by

Mona Lindstrøm

Key words

Experience, soil tunneling, pipe roof support

Summary

This report belongs to a R&D project to gain experiences with tunneling in difficult areas. Pipe roof support and experience are described here.

Forord

Denne rapporten inngår som en del av Fou prosjekt tunnel, erfaringsrapporter. Det vil bli utarbeidet rapporter i prosjektet om rørskjerm, driving igjennom jetpelet løsmassekløft og vanskelig injeksjon.

Jobertunnelen er en del av et rassikringsprosjekt på E39 i Granvin kommune.

Det er bygget en tunnel igjennom løs/urmasser og inn i berg ved hjelp av en rørskjerm. Denne byggemetoden er vanlig i Europa men er knapt brukt som en prosjektert metode i Norge.

Erfaringene med denne byggemetoden viser at metoden er en god løsning der forholdene ligger til rette for det og erfaringer blir beskrevet i rapporten utarbeidet av Sweco på oppdrag fra Statens vegvesen.

Valg av løsning, faglige vurderinger og innhenting av faglig ekspertise er blitt gjort i planleggingsarbeidet med tunnelloøsningen, ved et samarbeid mellom Statens vegvesen Region vest og Statens vegvesen Vegdirektoratet.

RAPPORT

Jobberget løsmassetunnel - Erfaringsrapport



Kunde: Statens vegvesen

Prosjekt: Løsmassetunnel, Granvin - Oppfølging i byggetiden.

Prosjektnummer: 584473

Dokumentnummer: 584473_R01

Rev.: A01

Sammendrag:

Arbeidene med drivingen av Joberget løsmassetunnel inkl. sikringsarbeider ble ferdigstilt i løpet av sommeren 2016 og støp av inner lining ferdigstilt i desember 2016.

Om man oppnår et godt resultat eller et mindre godt resultat, skyldes styrker og svakheter i alle faser av prosjektet; fra tidlig planlegging, undersøkelsesfase, prosjektering til gjennomføring. For å kunne videreformidle erfaringene fra Joberget løsmassetunnel til fremtidige prosjekter, er det viktig at både styrker og svakheter fremkommer i en analyse. I den forbindelse ble det avholdt et evalueringsmøte den 27.09.2016. Med på møtet var representanter fra rådgiver, byggherre, entreprenør, referansegruppen og Vegdirektoratet. Hensikten med møtet var å samle og diskutere de erfaringene som er gjort både i planleggings- og gjennomføringsfasen for løsmassedelen av prosjektet.

Denne rapporten gir en oppsummering av positive og negative erfaringer fra planleggingen og gjennomføringen av Joberget løsmassetunnel som kan være til nytte for fremtidige prosjekter av lignende karakter. Erfaringene er delt opp etter de ulike fasene i prosjektet:

- Forundersøkelser og analyser
- Prosjekteringen
- Anleggsfasen
- Øvrige forhold

Rapporteringsstatus:

- Endelig
 Oversendelse for kommentar
 Utkast

Utformet av:	Sign.:
Asgeir S. Gylland	
Kontrollert av:	Sign.:
Bent Aagaard	
Prosjektleder:	Prosjekteier:
Bent Aagaard	Torbjørn Yri

Revisjonshistorikk:

Rev.	Dato	Beskrivelse	Utformet av	Kontrollert av
A01	21.03.2017	Endelig versjon, rev. etter kommentarer	NOASGY	NOBENT
A00	21.12.2016	Foreløpig versjon, oversendelse for kommentar	NOASGY	NOBENT

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	5
1.1	Bakgrunn og hensikt	5
1.2	Prosjektgjennomføring	5
2	Erfaringer	6
2.1	Forundersøkelser og analyser	6
2.1.1	Topografi/kartgrunnlag	6
2.1.2	Overgang løsmasser/berg.....	7
2.1.3	Løsmasstype og egenskaper	7
2.1.4	Bergmassekvalitet.....	9
2.1.5	Hydrogeologi	9
2.1.6	Hva burde vært kartlagt bedre i forundersøkelsesfasen.....	10
2.2	Prosjektering	10
2.2.1	Anbudsdokumentene	10
2.2.2	Godkjenning i Vegdirektoratet.....	11
2.2.3	Påhugg/forskjæring	11
2.2.4	Inner lining.....	11
2.2.5	Alternative metoder	12
2.3	Anleggsfasen.....	12
2.3.1	Entreprenørens forståelse av oppgaven.....	12
2.3.2	Byggeledelse.....	12
2.3.3	Påhugg/forskjæring	13
2.3.4	Rørparaply.....	13
2.3.5	Suksessiv avbygning og sikring	15
2.3.6	Primary lining.....	17
2.3.7	Alternative drivemetoder	17
2.3.8	Deformasjonsmålinger	17
2.3.9	Drenering/pumpebrønner	18
2.3.10	Utgraving av løsmasser	19
2.3.11	Sprengning.....	19
2.3.12	Radielle dreneringsrør.....	19
2.3.13	Kritiske situasjoner	19
2.4	Øvrige forhold.....	19
2.4.1	Bruk av referansegruppe.....	19
2.4.2	Bruk av rådgiver med erfaring fra løsmassetunneler	20
2.4.3	Faglig støtte fra Vegdirektoratet.....	20

2.4.4 Fremdrift..... 20

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn og hensikt

Arbeidene med drivingen av Joberget løsmassetunnel inkl. sikringsarbeider ble ferdigstilt i løpet av sommeren 2016 og støp av inner lining ferdigstilt i desember 2016. I den forbindelse ble det avholdt et evalueringsmøte den 27.09.2016. Hensikten med møtet var å samle og diskutere de erfaringene som er gjort både i planleggings- og gjennomføringsfasen av prosjektet. Med på møtet var:

Bjarne Løne (Byggeleder tunnel, Statens vegvesen)
Helge Giljarhus (Byggeleder betong og forskjæring Holven, Statens vegvesen)
Harald Hauso (Geolog, Statens vegvesen)
Alf Kveen (Vegdirektoratet)
Anders Beitnes (WSP Norge AS, medlem av Referansegruppen)
Jiri Sach (Ass. Anleggsleder, Metrostav)
Martin Susko (tolk, Metrostav)
Bent Aagaard (Senior ingeniørgeolog, oppdragsleder, Sweco Norge AS)
Asgeir S. Gylland (Ingeniørgeolog, prosjektering og anleggsoppfølging, Sweco Norge AS)
Margrete Langåker (Ingeniørgeolog, anleggsoppfølging, Sweco Norge AS)

Om man oppnår et godt resultat eller et mindre godt resultat, skyldes styrker og svakheter i alle faser av prosjektet; fra tidlig planlegging, undersøkelsesfase, prosjektering til gjennomføring. For å kunne videreformidle erfaringene fra Joberget løsmassetunnel til fremtidige prosjekter, er det viktig at både styrker og svakheter fremkommer i en analyse. Denne rapporten gir en oppsummering av positive og negative erfaringer fra planleggingen og gjennomføringen av Joberget løsmassetunnel som kan være til nytte for fremtidige prosjekter av lignende karakter.

1.2 Prosjektgjennomføring

Jobergtunnelen er en del av Vossapakko, et rassikringsprosjekt der vegomlegging og rassikring i skjæringer/skråninger skal bidra til en sikrere veg. Tunnelen var opprinnelig prosjektert kortere, dvs. med søndre påhugg lenger nord, men en større rashendelse utenfor planlagt tunnel gjorde at tunnelen ble forlenget.

Ved sørlig påhugg Holven er det store løsmasseavsetninger. Dersom tunnelen ikke skulle forlenges ytterligere med mange hundre meter, måtte man bygge i områder med tykke løsmasser.

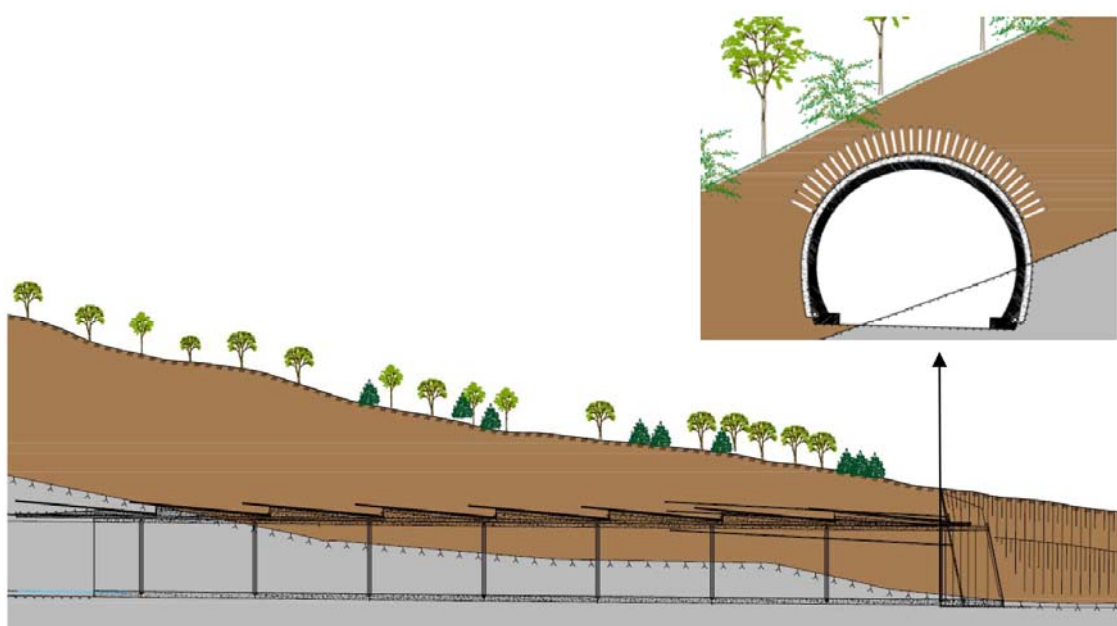
Åpen byggegrop ble vurdert, men både størrelsen på masseuttaket, høye skjæringer i løsmasse og en lang anleggsperiode i et område som ble ansett som sterkt rasutsatt, gjorde at man begynte å se på mulighetene for en løsmassetunnel. Reguleringsplanen fra 2010 la opp til at første del av tunnelen skulle gjennomføres som løsmassetunnel.

Selv om norske rådgivere og entreprenører har vært vant til å håndtere «løsmasseaktige» forhold i bergtunneler, har det aldri vært planlagt og gjennomført en vegtunnel i løsmasser de siste 60 årene. Det er utført en jernbanetunnel i leire i Trondheim, Tyholtunnelen, der man benyttet overtrykk for å stabilisere løsmassene i anleggstiden, og adgang til tunnelfronten var via sluser. Høyt trykk og manglende kunnskap og praktisering av dekompresjon førte til at arbeiderne fikk dykkersyke. En jernbanetunnel ved Eidsvoll ble utført i leire/silt midt på 90-tallet etter modell av mellomeuropeisk delsnittmetode og stålbu/sprøytebetonghvelv. En kort seksjon av denne ble sluttført som åpen byggegrop (cut & cover) etter problemer med ras.

Vegdirektoratet satte krav om at prosjekterende av løsmassetunnelen måtte ha erfaring med tilsvarende prosjekter. Sweco Norge AS, ved kontoret i Trondheim, ble tildelt prosjekteringsansvaret i samarbeid med iC Consulente fra Østerrike. Senior ingeniørgeolog Bent Aagaard var oppdragsleder og Ph.D. Peter Schubert ledet arbeidet som iC utførte. Begge disse har lang erfaring, også med svært vanskelige stabilitetsforhold i bergtunneler. iC har prosjektert mange løsmassetunneler hvor det såkalte «steel pipe umbrella»-metoden har blitt benyttet for å stabilisere tunnelen i drivefasen.

2 Erfaringer

Dette kapitlet beskriver de erfaringer som er gjort i forbindelse med planleggingen og gjennomføringen av Joberget løsmassetunnel, se Figur 1. En oppsummering av erfaringene, slik det ble diskutert på evalueringsmøtet på Voss 27.09.2016.



Figur 1: Lengdeprofil av løsmassetunnelen, tverrsnitt ved påhugget er også vist.

2.1 Forundersøkelser og analyser

2.1.1 Topografi/kartgrunnlag

Kartgrunnlaget er hentet fra FKB-data (felles kartdatabase) og supplert med innmåling av grunnboringer i området.

I forbindelse med feilutgraving i forskjæringen og terrenget over løsmassetunnelen, se avsnitt 2.3.1, ble det stilt spørsmål ved nøyaktigheten av terrenginnmålingen utført i forundersøkelsesfasen. Terrenget ble derfor målt inn på nytt, men det viste seg at resultatene var identiske med innmålingen utført i forundersøkelsesfasen.

Erfaringer:

- For en løsmassetunnel er overdekningen av stor betydning og nøyaktig innmåling av terrenget en forutsetning for god prosjektering. Her bør det inngå en vurdering av innspenning/støttende jordtrykk dersom det er sideveis hellende terreng.

friksjonsvinkel 39° for en vannmettet og rekonstruert prøve der de største steinene var fjernet. Morenen har på disse punktene vist seg å være av bedre kvalitet enn antatt i prosjekteringen. Dette gjelder også den generelle stabiliteten til morenen.

Det er utført 3 prøvegroper med dybde 5-6 meter. Disse har gitt god og nyttig informasjon om løsmassetype, variasjoner, langtids- og korttidsstabilitet samt vannforhold.

Gjennomføringen av prosjektet har vist at morenen i tunnelen har bestått av to typer, se Figur 3:

- Grå leirholdig morene (grey moraine) over berget.
- Brun sandholdig morene (brown moraine) over den grå morenen.



Figur 3: Stuff i løsmassetunnelen, ca. 10 meter fra påhugget.

At den brune morenen skulle følge tunnelen over et lengre strekk fremkom ikke av grunnundersøkelsene.

Erfaringer:

- Bruk av prøvegroper var en enkel undersøkelse som ga god informasjon om grunnforholdene.
- Lab. undersøkelser for å finne av kornfordelingskurve, densitet og vanninnhold er enkle å gjennomføre og gir god informasjon om morenens egenskaper.
- Lab. undersøkelser for å finne parameterverdier til numeriske analyser (friksjonsvinkel, poissons forhold, E-modul, kohesjon) er vanskelig både med tanke på uttak av uforstyrrede og representative prøver og gjennomføring av tester. Metode for uttak av materiale og gjennomføring av lab. undersøkelser bør forberedes godt i forkant og tilpasses løsmassetype og karakter.
- Forbedret prøvetaking fra borehull er ønskelig.

2.1.4 Bergmassekvalitet

Det var forventet at bergmassen i løsmassetunnelen skulle bestå av fyllitt. Foruten refraksjonsseismiske undersøkelser nord for løsmassetunnelen, ble det ikke utført forundersøkelser for å kartlegge bergmasstype eller kvalitet.

Erfaringer:

- Bergmassen i løsmassetunnelen har som forventet bestått av fyllitt. Den har vært av bedre kvalitet enn forventet, da den generelt har vært lite påvirket av forvitring. I overgangssonen mellom fyllitt og morene har det vært en tørr og konsolidert grå morene helt ned til berget. Se Figur 4.



Figur 4: Stuff med bergmasse bestående av fyllitt og typisk grå morene.

2.1.5 Hydrogeologi

Det ble utført slugtest, pumpetest og stigningstester i fem forede borehull for vurdering av permeabiliteten til morenen, og for å finne eventuelle permeable linser eller lag. Resultatene indikerte middels til lav permeabilitet i morenen ($10^{-4} - 10^{-8}$ m/s), med enkelte mer permeable områder uten at disse kunne tolkes til spesifikke lag i morenen.

Eventuelle vannførende og permeable lag i morenen eller i overgangen mellom berg og løsmasse, ble ansett som en stor usikkerhet med tanke på mulige stabilitetsproblemer i massene. Selv om undersøkelsene ikke ga noen klare indikasjoner på at slike lag skulle eksistere, kunne det ikke avkreftes. Innlekkasje under driving ble vurdert å kunne ha stor innvirkning på stabiliteten og fikk derfor stort fokus i prosjekteringsfasen og under forberedelsen til oppfølgingen i anleggsfasen. Tiltak for å hindre innlekkasje i anleggsfasen har bestått av:

- Drenering av morenen rundt tunnelen, foran stuff og fra forskjæringen ved bruk av perforerte dreneringsrør med lengde opp mot 20 meter.
- Boring av 5 pumpebrønner på «oppstrøms side» av tunnelen (østsiden).

Erfaringer:

- Innlekkasje av vann ble vurdert som en av de største usikkerhetene ved prosjektet. Morenen viste seg å være lite permeabel uten vannførende lag.
- Hydrogeologiske undersøkelser og vurdering av hydrogeologiske forhold var av stor betydning i prosjekteringsfasen.

2.1.6 Hva burde vært kartlagt bedre i forundersøkelsesfasen

Erfaringer:

- Uttak av mest mulig uforstyrrede prøver og laboratorietesting, for eksempel i skjærboks.
- Mindre kompliserte laboratorietester som undersøkelse av vanninnhold og tetthet burde ha vært utført.
- Resultatene fra disse undersøkelsene kunne gitt nyttig informasjon om morenen og bedre input til numeriske analyser.

2.2 Prosjekteringen

2.2.1 Anbudsdokumentene

Prosesskoden er benyttet ved beskrivelse av de ulike elementene som inngår i løsmassetunnelen. Disse prosessene er tilpasset driving av tunnel i berg, ikke i løsmasse. Dette har gitt behov for å opprette nye prosesser og benytte spesiell beskrivelse. Til tross for dette har det vært få krav fra entreprenøren tilknyttet beskrivelsene. Ytterligere spesifiseringer og avklaringer som har dukket opp underveis, har blitt håndtert fortløpende på en grei måte.

Både byggherre, rådgiver og entreprenør mener at enhetspriskontrakt uten forhåndsatte sikringsklasser er fordelaktig ved driving av løsmassetunnel. Dette gir god fleksibilitet, men krever godt samarbeid mellom entreprenøren og byggherren i driveperioden.

Statens vegvesens regelverk krever at alle anbudsdokumenter skal være på norsk. For løsmassetunnelen er det satt krav til at tilbyderen skal ha erfaring fra tilsvarende arbeider. Da dette ikke er utført tidligere i Norge, måtte det forventes at utenlandske entreprenøren vil gi tilbud på denne jobben. Anbudsbeskrivelser må derfor oversettes av tilbydere, noe som øker sannsynligheten for misforståelser. For eksempel kunne det vært laget arbeidstegninger på både norsk og engelsk, og tekniske krav i anbudsdokumentene kunne også ha vært på engelsk.

Erfaringer:

- Prosesskoden mangler prosesser for flere elementer som inngår i løsmassetunnelen. Dette ga behov for å opprette egne prosesser og benytte spesiell beskrivelse.
- God erfaring med enhetspriskontrakt uten fastsatte sikringsklasser.
- Statens vegvesens regelverk krever at alle anbudsdokumenter skal være på norsk. Anbudsdokumenter der arbeidstegninger og tekniske krav er angitt på både norsk og engelsk, vil kunne redusere sannsynligheten for misforståelser når det forventes utenlandsk entreprenør.

2.2.2 Godkjenning i Vegdirektoratet

Godkjenning av løsmassetunnelen hos Vegdirektoratet er utført i to parallelle prosesser:

1. *Sikringstiltak i anleggsfasen for etablering av påhugg og driving av tunnel.* Godkjenningen er utført av geoteknikk- og skredseksjonen i Vegdirektoratet.
2. *Permanente sikringskonstruksjonen.* Godkjenningen er utført av bruseksjonen i Vegdirektoratet med Asplan Viak som kontrollkonsulent.

Løsmassetunnel av denne typen er i henhold til Statens vegvesens håndbøker definert som en brukonstruksjon. Godkjenning av den permanente sikringskonstruksjonen er derfor utført av bruseksjonen i Vegdirektoratet. Begge godkjenningsprosessene har vært tunge og påvirket av at den er utført av faggrupper som ikke er kjent med prinsippene for tunneldriving. Det har ikke vært klare føringer og frister for hvordan godkjenningsprosessen skulle gjennomføres, noe som gjorde at utlysningen av prosjektet ble forsinket.

Erfaringer:

- Det bør utarbeides klarere føringer for hvordan godkjenningsprosessen skal utføres i Vegdirektoratet. Kontroll bør utføres av faggrupper med relevant erfaring og med tydelige frister.

2.2.3 Påhugg/forskjæring

Prosjekteringen av forskjæring og løsmassetunnel ble utført uavhengig av hverandre. For forskjæringen ble det prosjektert en langsgående grøft i bakkant av forskjæringen. Denne ble i anleggsfasen gravd for dyp, noe som resulterte i redusert overdekning i løsmassetunnelen. Det kunne vært unngått ved bedre koordinering mellom prosjekteringen av løsmassetunnelen og forskjæringen.

Erfaringer:

- God koordinering mellom prosjektering av løsmassetunnel og forskjæring er viktig.

2.2.4 Inner lining

Før montering av membran og støp av inner lining må tunnelprofilen utjevnes med sprøytebetong. Det finnes membraner som tåler relativt store ujevnheter i tunnelprofilen hvis de er montert korrekt. Korrekt beskrivelse av dette gir mulighet for å benytte konstruksjonsbetong istedenfor sprøytebetong for å fylle opp profilet. Dette vil være kostnadsbesparende.

I utgangspunktet var inner lining prosjektert uten armering. Beregningene viste at det ikke var behov for armering, samt at erfaringer fra jernbanetunneler ved fellesprosjektet (Ulvintunnelen) og tilsvarende prosjekter i sentral-Europa viste at dette var en gjennomførbar løsning. I henhold til krav i Statens vegvesen sine håndbøker skal det alltid være minimumsarmering for portalkonstruksjoner som inner lining. Det måtte derfor legges inn armering i inner lining.

Primary lining og inner lining er hver for seg dimensjonert som fullverdig sikring av tunnelen. For fremtidige prosjekter kan det vurderes hvorvidt inner lining er nødvendig, og om dette kan byttes ut med standard vann- og frostsikring.

Inner lining installeres med membran som i permanent situasjonen fungerer som vann- og frostsikring. Erfaringene fra prosjektene nevnt over, viser at dette fungerer selv under store frostmengder. Løsningen ble ikke godkjent i Vegdirektoratet, men prosjektet har fått innvilget søknad om fravik på dette punktet under visse forutsetninger. I tillegg blir det installert temperatursensorer i inner lining for å måle temperaturvariasjoner gjennom året.

I revidert utgave av håndbok N500 Vegtunneler (november 2016), er kontaktstøpt vann- og frostsikringshvelv med membran godkjent som vann- og frostsikring i bergtunnel for alle frostmengder.

Erfaringer:

- Beskrivelse av membran som tåler større ujevnheter kan være kostnadsbesparende.
- Armering er i utgangspunktet ikke nødvendig, men satt som et krav i SVV håndbøker. Det er både tid og kostnader å spare på å unngå armering i støpen.
- Behov for inner lining av betong kan diskuteres. Annen vannsikring kan vurderes.
- Utstøpning med membran i løsmassetunneler bør godkjennes som vann- og frostsikringsløsning slik det er for bergtunneler i revidert håndbok N500 (november 2016).

2.2.5 Alternative metoder

Før prosjekteringsfasen ble det sett på ulike alternativer for gjennomføring av påhugget ved Holven. Det ble sett på et alternativ med åpen byggegrop, men dette ble forkastet på grunn av skredfare og behov for store løsmasseskjæringer. Alternativet med løsmassetunnel ble ansett som gjennomførbart og dermed valgt som løsning. Utover dette ble det ikke sett på andre løsninger.

Erfaringer:

- Flere metoder enn løsmassetunnel (f.eks. frysing) og varianter av byggegrop kunne vært vurdert.

2.3 Anleggsfasen

2.3.1 Entreprenørens forståelse av oppgaven

Entreprenør for Jobertunnelen har vært arbeidsfellesskapet Metrostav (Tsjekkia) og Bertelsen & Garpestad. Metrostav har vært ansvarlig for driving av løsmassetunnelen og fremstått som en kompetent entreprenør med erfaring fra driving av løsmassetunnel. Læringskurve og ekstra forsiktighet i starten av drivingen ga lav inndrift, men effektiviteten og inndrift økte utover i driveperioden.

Bertelsen & Garpestad hadde ansvaret for utgraving og sikring av forskjæringen ved Holven. Under disse arbeidene ble det gravd ut feil i forskjæringen, i terrenget over tunnelen og i foten av skråningen langs løsmassetunnelen. Dette gav utfordringer knyttet til skjev forskjæring og redusert overdekning i første del av tunnelen.

Erfaringer:

- Entreprenøren må ha forståelse for hva som skal bygges, se det store bildet.
- Entreprenørene må samarbeide innad selv om de har ulike oppgaver i prosjektet.

2.3.2 Byggeledelse

Ingeniørgeologer fra Sweco har sammen med personell fra iC Consulenter med erfaring fra driving av løsmassetunnel, vært ansvarlig for oppfølgingen av løsmassetunnelen. Tilstedeværelse av personell med erfaring fra driving av løsmassetunnel på byggherresiden har vært veldig nyttig for prosjektet. En viktig del av oppfølgingen under driving har vært et daglig møte mellom representanter fra byggherre og entreprenør. Disse møtene har foregått på engelsk.

Utenlandsk entreprenør har andre helligdager og ferier enn i Norge. Dette har tidvis vært utfordrende for byggherre å tilpasse oppfølgingen til dette. I kontrakten er det beskrevet at entreprenøren skal være til stede med tilgjengelig mannskap 24/7 under driving av løsmassetunnelen. Dette ligger inne som en egen prosess i beskrivelsen.

Referansegruppen har påpekt at det burde vært personell fra SVV i byggeledelsen med geoteknisk/ingeniørgeologisk kompetanse og erfaring og med overordnet ansvar for oppfølgingen av løsmassetunnelen. Dette kunne også vært benyttet for å bedre utnytte de ressurser som ligger innad i SVV og for kompetanseoverføring.

Erfaringer:

- Nyttig med tilstedeværelse av personell fra iC med erfaring fra driving av løsmassetunnel.
- God erfaring med daglig møte mellom entreprenør, rådgiver og byggherre under driving av løsmassetunnelen.
- Utfordrende for byggherre å tilpasse oppfølgingen når entreprenøren har andre helligdager og ferier enn i Norge. Dette kan eventuelt spesifiseres ytterligere i anbudsdokumentene.
- Statens vegvesen burde hatt personell med geoteknisk/ingeniørgeologisk kompetanse i byggeledelsen med overordnet ansvar for oppfølging av løsmassetunnelen.

2.3.3 Påhugg/forskjæring

Trinnvis beskrivelse av midlertidig portal som angitt i arbeidstegningene ble fulgt og fungerte godt, se Figur 5.



Figur 5: Etablering av midlertidig sprøytebetongportal

Erfaringer:

- Selv om forskjæringen var skjev, var løsningen fleksibel nok til å håndtere dette på en god måte.

2.3.4 Rørparaply

Det er boret totalt 7 rørskjerm. Ved rørsjerm nr. 3 opplevde entreprenøren problem med boring av rør med dimensjon Ø114/6,3mm, da gjengene/skjøten mellom flere av rørene ble knekt eller revet av, se Figur 6. Det ble åpnet for å benyttet Ø101,6/7,1mm rør av tilsvarende stålklasse

(S355N), da entreprenøren hadde disse på anlegget og ikke opplevde tilsvarende problem ved bruk av disse. Rørskjerm nr. 4 er boret kun med Ø101,6/7,1 mm rør. Rørskjerm 5,6 og 7 er boret med både Ø101,6/7,1mm og Ø114/6,3mm rør. Årsaken til de knekte rørene er trolig en kombinasjon av grunnforholdene, redusert ståltykkelse i gjengepartiet og utførelsen.



Figur 6: Avrevet gjengeparti

Unøyaktighet ved ansett og orientering av rør under boring, sammen med en stein-/blokkholdig morene, ga boravvik. Dette ga ujevnt profil som igjen førte til økt forbruk av sprøytebetong.

I prosjekteringen ble det vurdert og beskrevet at overlappen mellom hver rørskjerm skal være 3 meter. I forkant av drivingen uttrykte entreprenøren bekymring om at dette var for lite og at den burde være 5 meter. Gjennomføringen av prosjektet viser at 3 meter overlapp ga tilfredsstillende stabilitet i disse massene.

Rørskjerm er flere steder boret gjennom blokker i morenen (granitt/gneis), se Figur 7, uten at dette ga problemer. Hvor disse hang i profilet ble blokken pigget eller sprengt forsiktig ned.



Figur 7: Rør boret gjennom blokk i morenen

I beskrivelsen er det angitt spesifikasjoner for hvordan rørene i rørskjermen skal perforeres. Hensikten med perforeringen er at injeksjonsmasse skal presses ut slik at hulrommet mellom rør og borehull blir fylt med injeksjonsmasse når de senere injiseres. Leverandøren leverte rør med korrekt perforering, men der perforeringene hadde en gummiplugg. Hensikten med gummipluggen er ifølge leverandøren å holde borevann i røret og unngå at vannet skal påvirke løsmassene rundt rørene. Under injeksjon vil gummipluggene gå ut ved et angitt trykk slik at injeksjonsmasse kan passere. Ved endt injeksjon vil pluggen gå tilbake og tette perforeringen. Det ble utført en test ved bruk av vanntrykk. Resultatet viste at kun et fåtall av pluggene gikk ut ved angitt trykk. Under boring og injisering av rørene i løsmassetunnelen er det benyttet både rør med og uten gummiplugg. Det er ikke erfart noen forskjell under boring.

Ved injeksjon av rørskjerm er det benyttet injeksjonstrykk fra 1-10 bar. Injeksjonen er stoppet ved trykkoppbygging eller utgang til terreng/stuff. Medgått injeksjonsmengde viser at injeksjonen stort sett kun har fylt rørene. Injeksjonsmasse på eller rundt rør er kun observert et fåtall av ganger i anleggsfasen.

Erfaringer:

- Det må forventes at enkelte rør knekker under boring i morenemasser med innhold av stein og blokk. Rør med godstykkelse 6,3mm er mer utsatt for å knekke enn rør med godstykkelse 7,1mm.
- Det burde ha vært satt krav til borenøyaktig for rør.
- 3 meter overlapp mellom rørskjermer var tilfredsstillende i disse jordmassene.
- Rørskjermen ble flere steder boret gjennom blokker i morenen uten at dette skapte problemer.
- Bruk av rør med gummiplugg i perforeringene ga ingen fordel under boring. Trykktest viser at pluggene ikke går ut ved angitt trykk.
- Det er usikkert i hvilken grad injeksjonsmasse har fylt hulrommet mellom rør og borehull. Medgått injeksjonsmasse og observasjoner i anleggsfasen indikerer at injeksjonen hovedsakelig kun har fylt rørene.

2.3.5 Suksessiv avbygning og sikring

Suksessiv avbygning og sikring har vært nødvendig for å ha kontroll med stabiliteten. For den brune morenen har det blitt benyttet 2-4 seksjoner under utgraving av 1 meter lengde av toppskive (Figur 8), mens den grå morenen stort sett er utgravd i 1-2 seksjoner. I de deler av tunnelen hvor profilet kun bestod av fyllitt og grå morene, kunne det trolig ha vært drevet med fullt tverrsnitt (både toppskive og benk). Entreprenøren opplyser at de er usikker på om dette ville ha vært noe raskere, da de da måtte ha tatt ut hele tunnelen i 1 meter lengder. Driving av benk er utført i 3-4 meter lengder.

Teoretisk kunne det oppstå problemer med skjevbelastning i de deler av toppskiven hvor det er løsmasse i en vegg og berg i den andre. Det var ingen problem med dette i anleggsperioden.

På arbeidstegningene er det kun beskrevet en løsning med bruk av uarmert sprøytebetong og armeringsnett for sikring av stuff. I beskrivelsen er det i tillegg tatt inn prosess for fiberarmert sprøytebetong som alternativ.

I anleggsperioden ble det benyttet uarmert sprøytebetong med armeringsnett i samvirke med stuffbolter i den brune morenen. For den grå morenen er det i hovedsak blitt benyttet fiberarmert sprøytebetong. Erfaringene med bruk av disse to metodene viser at uarmert sprøytebetong med

armeringsnett ga tilfredsstillende stabilitet i den brune morenen, men at det er mer tidkrevende og øker forbruket av sprøytebetong sammenliknet med fiberarmert sprøytebetong.

I første del av tunnelen ble det benyttet 8-10 stufbolter som angitt på arbeidstegningene. Kombinasjonen av stufbolter med plate og sprøytebetongsikring av stuf gav god kontroll med stabilitetene i den brune morenen. I den grå morenen, hadde stufboltene begrenset funksjon og nytte.



Figur 8: Stuf profil 2438, brun morene i øvre del av profilet. Utgraving i seksjoner ved stuf

Behov for supplerende sikring, dreneringsrør eller andre tiltak er vurdert daglig i et møte mellom byggherre og entreprenør.

Utgravingslengde og avstand mellom gitterdrager ble økt fra 1,0 til 1,2 meter og senere til 1,5 meter på grunn av gunstige grunnforhold. Tilsvarende ble lengden av avstandsholdere mellom gitterdragerene forlengt. Dette ga raskere fremdrift.

Erfaringer:

- Suksessiv avbygning og sikring har vært nødvendig for å ha kontroll med stabiliteten.
- I de deler av tunnelen hvor profilet kun bestod av fyllitt og grå morene, kunne det trolig ha vært drevet med fullt tverrsnitt (både toppskive og benk). Dette ville trolig ikke ha gått raskere.
- God erfaring med bruk av uarmert sprøytebetong og armeringsnett i kombinasjon med stufbolter for sikring av stuf. Fiberarmert sprøytebetong er et godt alternativ hvor stabiliteten i massene er bedre.
- Hvor grunnforholdene tillot det, ble utgravingslengden stegvis økt til 1,5 meter.
- Behov for supplerende sikring, dreneringsrør eller andre tiltak ble vurdert fortløpende og bestemt i et daglig møte mellom byggherre, rådgiver og entreprenør. Dette fungerte som et godt tiltak for å fange opp potensielle problemer og raskt kunne iverksette tiltak der det har vært nødvendig.

2.3.6 Primary lining

Som midlertidig sikring av profilet var det prosjektert en løsning med to lag armeringsnett i kombinasjon med 30 cm sprøytebetong. I tillegg skulle det monteres en gitterdrager for hver utgravingsrunde.

Erfaringer:

- Montering av armeringsnett og gitterdrager ble utført ved bruk av lift og tunnelrigg. På grunn av ujevnt profil ble sprøytebetongtykkelsen av primary lining større enn de anviste 30 cm, ofte opp mot 40-50 cm.

2.3.7 Alternative drivemetoder

Som alternativ til driving med rørskjerm, var det i anbudsdocumentene beskrevet en alternativ løsning med bruk av ø32mm spilingbolter med lengde 6 meter. Fordelen med denne metoden er at man unngår det sterkt utvidede tunnelprofilen som en får ved bruk av rørparaplyskjerm. Dermed unngår man behovet for å jevne ut tunnelprofilen med sprøytebetong i ettertid. Erfaringen fra anleggsperioden viser at entreprenøren hadde en motvilje mot å benytte denne metoden, trolig da den er mindre økonomisk gunstig. Dette gjorde det utfordrende å få entreprenøren med på et bytte av metode selv om forholdene i tunnelen tilsa at denne metoden kunne benyttes.

Hvor det ble benyttet ø32mm spiling ble disse ofte feil montert, enten med for stor eller for liten vinkel.

Erfaringer:

- Bruk av spiling istedenfor rørskjerm var en gjennomførbar metode i den grå morenen.
- Erfaringen viser at det kan være utfordrende å bli enig med entreprenøren om bytte av metode.

2.3.8 Deformasjonsmålinger

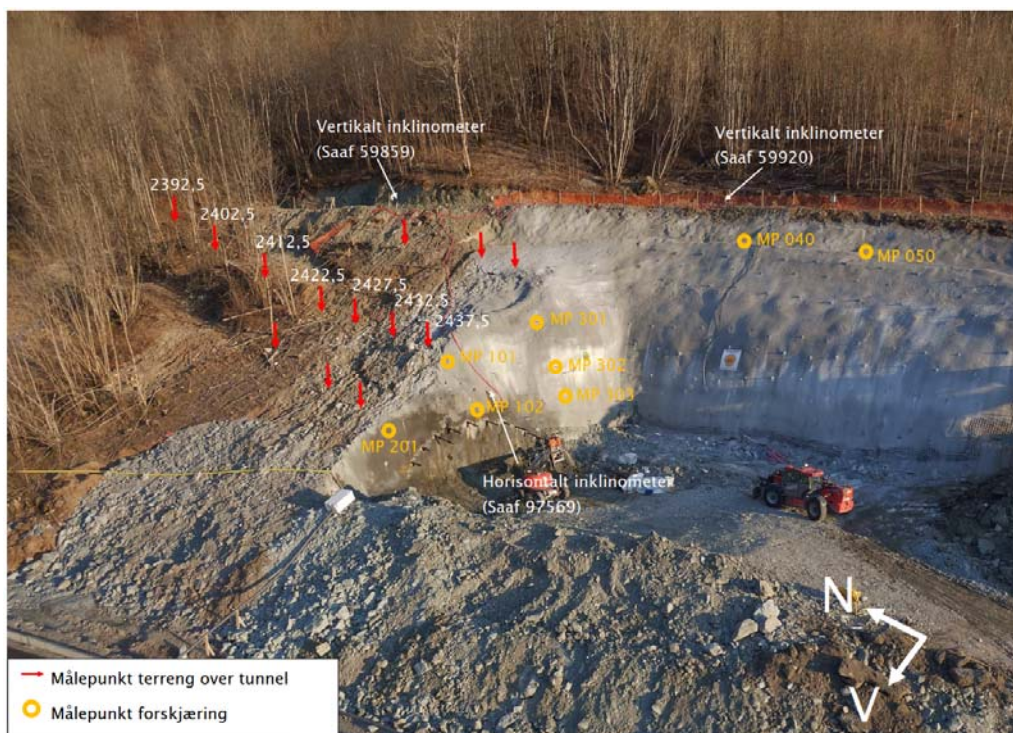
Deformasjoner i og over tunnelen er registrert ved bruk av to metoder, se Figur 9:

1. Ett horisontalt og to vertikale inklinometer med automatisk loggesystem og web-basert presentasjon fra Cautus.
2. Målebolter med reflektorer og måling med totalstasjon.

Deformasjonsmålingene har blitt benyttet daglig for vurdering av stabiliteten. I forkant av drivingen ble det utarbeidet deformasjonskriterier tilknyttet ulike farenivå. For de ulike farenivåene var det fastsatt klare rutiner på hvordan situasjonen skulle håndteres.

Det horisontale inklinometeret har den fordel at den måler deformasjoner kontinuerlig, også foran stoff. Den gir dermed et mål på den totale deformasjonen. Ulempen er at inklinometeret er sensitivt for ytre påvirkning, og det ble erfart at resultatene ofte ble påvirket ved injeksjon av rørskjerm eller forbolter. De vertikale inklinometerene har ikke vist noen nevneverdig deformasjon.

Konvergensmåling i tunnelen med bruk av reflektorer har vært hovedmetode for vurdering av stabiliteten. Måleresultatene har ofte vært påvirket måleunøyaktighet, noe som ved flere anledninger har gitt behov for supplerende målinger. Det kan være flere årsaker til måleunøyaktigheten, men ugunstig plassert fastmerke og skade på målepunkter under utgraving er vurdert som de viktigste. Resultatene har vist et forventet deformasjonsforløp.



Figur 9: Oversikt over inklinometer og konvergensmålepunkt i forskjæring og terreng

Erfaringer:

- Fastsatte farenivå og rutiner ved store deformasjoner og hendelser i tunnelen ga klare retningslinjer for hvordan kritiske situasjoner skulle håndteres.
- Horisontalt inklinometer over tunnelen var en god metode for overvåkning av deformasjon både foran og bak stuff.
- Konvergensmålinger var beste metode for å måle deformasjoner i tunnelen.

2.3.9 Drenering/pumpebrønner

Som beskrevet i avsnitt 2.1.5, har tiltak for å hindre innlekkasje i anleggsfasen bestått av:

- Drenering av morenen rundt tunnelen, foran stuff og fra forskjæringen ved bruk av perforerte dreneringsrør med lengde opp mot 20 meter.
- Boring av 5 pumpebrønner på oppstrøms side av tunnelen (østsiden).

Gjennomføringen av prosjektet har vist at morenen generelt har vært veldig lite permeabel. Dette gjelder også overgangen mellom berg og løsmasse. Kun noe vannsig har vært registrert i den brune morenen, typisk i overgangen mellom brun og grå morene. Det har derfor blitt benyttet betydelig mindre dreneringsrør enn det som lå i beskrivelsen. Pumpebrønnene har i snitt pumpet < 10 liter per dag, og dermed hatt minimal effekt.

Erfaringer:

- Opplegget ga god sikkerhet mot uønskede hendelser knyttet til innlekkasje.
- Dreneringsrør og pumpebrønner hadde liten effekt da morenen generelt var lite permeabel.

2.3.10 Utgraving av løsmasser

For utgraving av løsmassene er det benyttet små til medium gravemaskiner med ulikt utstyr (skuffe, ripper, pigg).

Erfaringer:

- Bruk av spesiell gravemaskin utviklet for utgraving i løsmassetunneler (med teleskoparm) ville vært tidsbesparende og gitt jevnere profil.

2.3.11 Sprengning

Toppskiven drives i utgangspunktet i 1 meter lengder. Sprengning av 1 meter lengder uten å få bakbrytning har vært noe utfordrende. På grunn av god stabilitet i den grå morenen, som ligger over fyllitten, har ikke dette gitt stabilitetsmessige problemer verken i stuff eller i profilet.

Erfaringer:

- Sprengning av 1 meter salver har stort sett gått bra, men gitt noe behov for etterarbeid.

2.3.12 Radielle dreneringsrør

For å unngå oppbygging av vanntrykk mot konstruksjonen, er det boret 3 meter lange radielle dreneringsrør med engangskrone i områder hvor det er registrert innlekkasje i morenen eller i primary lining. Dreneringsrørene drenerer morenen og leder vannet til membranen.

Erfaringer:

- Det ble forsøkt å presse plastrør inn i hull boret med vanlig boreutstyr, uten at dette var vellykket.
- Det ble valgt å benytte selvborende dreneringsrør av typen *Dywidag AT-Drainage Drilling systems*, noe som har fungert godt.

2.3.13 Kritiske situasjoner

Drivingen av løsmassetunnelen er utført på en god og trygg metode med tett oppfølging. Det har ikke oppstått kritiske situasjoner under drivingen av løsmassetunnelen.

Erfaringer:

- Tett oppfølging har vært viktig for å unngå kritiske situasjoner. Mindre utfordringer med stabiliteten av den brune morenen har blitt løst med de metodene som ligger i beskrivelsen.
- Baksiden med de gode grunnforholdene er at man ikke har fått testet ut metodens muligheter og begrensninger i vanskeligere forhold, f.eks. med lav kohesjon og høy permeabilitet.

2.4 Øvrige forhold

2.4.1 Bruk av referansegruppe

Statens vegvesen utnevnte tidlig i prosjekteringen en referansegruppe bestående av Anders Beitnes, Bjørn Nilsen og Roger Olsson for å følge prosjektet, også i anleggsfasen. Det har ikke vært behov for å konsultere gruppen på grunn av vanskelige/kritiske situasjoner i anleggsfasen.

Erfaringer:

- Uavhengige eksperter som kan se kritisk på løsninger og foreslå tiltak både under prosjektering og i anleggsfasen har fungert godt og vært nyttig for prosjektet.

2.4.2 Bruk av rådgiver med erfaring fra løsmassetunneler

Som nevnt i innledningen ble det av vegdirektoratet satt som krav at prosjekterende av løsmassetunnelen måtte ha erfaring med tilsvarende prosjekter. Sweco Norge AS har samarbeidet med iC Consulenter fra Østerrike, både under prosjektering av løsmassetunnelen og for oppfølging i anleggsperioden.

Erfaringer:

- Bruk av rådgiver med erfaring fra løsmassetunneler har vært svært viktig både under prosjektering og anleggsfasen for å sikre trygg gjennomføring. Se også avsnitt 2.3.2.

2.4.3 Faglig støtte fra Vegdirektoratet

Prosjektet har ikke mottatt faglig støtte eller særlig interesse fra Vegdirektoratet under driveperioden.

Erfaringer:

- Med tanke på erfaringsoverføring og forbedringer av kontraktsmaler, ville det vært en fordel med mer tilstedeværelse fra Vegdirektoratet.

2.4.4 Fremdrift

Driving av toppskiven startet 17 februar 2016. I forkant av dette var den første rørskjermen boret og den midlertidig sprøytebetongportalen montert. Med 24 timer drift mandag til lørdag (3 skift på 8 timer), var toppskiven ferdig drevet i midten av mai 2016. Innen slutten av mai var benken ferdig drevet.

For de første ca. 10 meterne av tunnelen var fremdriften ca. 0,5 meter/dag på grunn av dårligere grunnforhold og behov for oppdeling av stuff 4-6 seksjoner. For de neste 40 meterne var fremdriften ca. 1 meter/dag og de siste 50 meterne var fremdriften opp mot 2 meter/dag.

Erfaringer:

- Totalt er det benyttet ca. 100 dager på å drive ca. 100 meter løsmassetunnel, noe som tilsvarer 1 meter/dag. Dette er tilsvarende fremdrift som antatt under prosjekteringen.



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen